

⑤ Int. Cl.<sup>4</sup>

H 01 S 3/133

識別記号

庁内整理番号

7377-5F

⑬ 公開 昭和62年(1987)10月24日

審査請求 未請求 発明の数 1 (全11頁)

⑭ 発明の名称 半導体レーザーの発振周波数・発振出力安定化装置

⑯ 特 願 昭61-87349

⑰ 出 願 昭61(1986)4月16日

⑱ 発 明 者 堀 信 男 東京都板橋区蓮沼町75番1号 東京光学機械株式会社内

⑲ 出 願 人 東京光学機械株式会社 東京都板橋区蓮沼町75番1号

⑳ 代 理 人 弁理士 西脇 民雄

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

半導体レーザーの発振周波数・発振出力安定化装置

## 2. 特許請求の範囲

(1) 単一発振モードで発振する半導体レーザーに注入電流を供給する注入電流供給源と、

前記半導体レーザーの発振出力の一部を受光して発振出力の変動を検出する発振出力変動検出部と、

前記半導体レーザーの発振出力の一部を前記半導体レーザーの発振波長領域で分光特性が変化する光学素子を介して受光する受光部並びに該受光部の出力及び前記発振出力変動検出部の出力に基づいて前記半導体レーザーの発振波長の変動を求める処理部を有する発振波長変動検出部と、

前記半導体レーザーの発熱量を検出する発熱量検出部と、

前記半導体レーザーに設けられてその動作温度を検出する動作温度検出部、前記半導体レーザー

との間で熱の授受を行う熱電効果型素子、及び設定温度に対応する基準信号と前記発熱量検出部の出力と前記発振出力変動検出部の出力に基づいて前記発振出力を一定に保ちつつ前記設定温度に前記動作温度が一致するように前記熱電効果型素子を制御する動作温度制御部とからなる動作温度安定化部と、

前記発振波長変動検出部の出力に基づいて発振波長が一定となるように前記注入電流源の注入電流を制御する注入電流制御部とから成る半導体レーザーの発振周波数・発振出力安定化装置。

## 3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、単一発振モードで発振する半導体レーザー(レーザーダイオード; LDともいう)の発振周波数・発振出力を安定化させることのできる半導体レーザーの発振周波数・発振出力安定化装置に関する。

(従来の技術)

近時、半導体レーザーは、入力エネルギーに対

する出力エネルギーの変換効率が大きいことから光学系を備えた各種の機器に使用されつつある。ところで、この半導体レーザーは、その発振周波数、発振出力がその半導体レーザーの動作温度の変化に依存して変化するという性質を有している。また、発振周波数、発振出力は、半導体レーザーの注入電流を供給する電流供給源の注入電流の変動によっても変動する(電子通信学会技術研究報告; OQE 82-95~106(発行年月日; 1983年1月17日)の借学技報 Vol. 82 No. 218号のOQE-99のGaAlAs半導体レーザーの光ガルバノ効果による発振周波数・発振出力の安定化という研究報告を参照のこと。).

すなわち、半導体レーザーの発振波長 $\lambda$ の変動量 $\Delta \lambda$ とその発振出力 $P$ の変動量 $\Delta P$ とは、注入電流 $I$ の変動量 $\Delta I$ と、半導体レーザーの動作温度 $T$ の変動量 $\Delta T$ との関数として表されるものである。

その関係式を下記に示す。

$$\Delta \lambda = \left( \frac{\partial \lambda}{\partial I} \cdot \Delta I \right) + \dots \quad \dots (A')$$

$$\Delta P = \left( \frac{\partial P}{\partial I} \cdot \Delta I \right) + \dots \quad \dots (B')$$

という式に変形できる。

この(A')式、(B')式は、発振出力 $P$ の変動量 $\Delta P$ を一定にすると、注入電流 $I$ の変動量 $\Delta I$ が抑制され、注入電流 $I$ の変動量 $\Delta I$ が抑制されると発振波長の変動量 $\Delta \lambda$ が抑制され、もって半導体レーザーの発振周波数が安定化することが原理的に示される。

(発明が解決しようとする問題点)

このようなわけで、半導体レーザーの発振周波数・発振出力を安定化させるためには、半導体レーザーの動作温度 $T$ を一定に維持したうえで、注入電流 $I$ の変動 $\Delta I$ を抑制することが望ましい。

そこで、この半導体レーザーの動作温度を設定温度に保つために、熱電効果型素子としてのペルチェ素子を有する温度制御装置(特開昭53-1782号公報参照)を温度安定化装置として用いること

$$\Delta \lambda = \left( \frac{\partial \lambda}{\partial I} + \frac{\partial \lambda}{\partial T} \cdot \frac{dT}{dI} \right) \cdot \Delta I + \frac{\partial \lambda}{\partial T} \cdot \Delta T \quad \dots (A)$$

$$\Delta P = \left( \frac{\partial P}{\partial I} + \frac{\partial P}{\partial T} \cdot \frac{dT}{dI} \right) \cdot \Delta I + \frac{\partial P}{\partial T} \cdot \Delta T \quad \dots (B)$$

ここで、 $dT/dI$ は、半導体レーザーに注入される注入電流 $I$ によって半導体レーザーが自己発熱した分の温度上昇に基づく変動分である。

上記の研究報告には、発振周波数・発振出力の安定化を図るために、発振出力の変動を動作温度に帰還しかつ発振周波数の変動を注入電流に帰還する手段と、発振出力の変動を注入電流に帰還しかつ発振周波数の変動を動作温度に帰還する手段とが示されている。しかしながら、上記の手段によって周波数の安定化を行うと、半導体レーザーの出力はフリーランニング時に比較して変動が大きくなるので好ましくない。

ところで、 $T = \text{一定} (= \text{const})$ とすると、 $\Delta T = 0$ 、 $dT/dI = 0$ 、 $\partial P/\partial T = 0$ となるから、(A)式と(B)式とは、

が考えられるが、半導体レーザーの場合には、その注入電流によって半導体レーザーそのものが発熱するために、半導体レーザーの動作温度と設定温度との温度差に基づいて、設定温度に動作温度を近づけるように熱電効果型素子を制御するものとする。半導体レーザーの発熱によって環境温度 $T$ の変化によって設定温度から動作温度がずれるという問題点に加えて、半導体レーザー素子の熱抵抗の経時的変化及び温度制御装置を構成する素子の経時的変化等により動作温度を長期的安定させにくいという問題点がある。

上記した問題点について以下に説明する。

第1図は、半導体レーザー1の動作温度の安定化を図るための動作温度制御部の構成を示し、第2図はその動作温度の安定化を図るための熱電変換装置6の構成を示すもので、熱電変換装置6はそのペルチェ効果型素子7の一侧に半導体レーザー1を設け、その他側に放熱板8を設け、サーミスタ9を内蔵して構成されている。

サーミスタ9は、半導体レーザー1の動作温度

$T_s$ を検出し、その動作温度 $T_s$ は、温度電圧変換回路32で動作温度変換電圧 $E_s$ に電圧変換される。この動作温度変換電圧 $E_s$ は、オペアンプ10の一端子に入力される。このオペアンプ10の他端子には、基準電源11によって設定温度 $T_e$ に対応する基準電圧 $E_e$ が入力される。オペアンプ10は、この基準電圧 $E_e$ とその動作温度変換電圧 $E_s$ とを比較してその差分出力をトランジスタ12に向かって出力する。トランジスタ12は、トランジスタ12aとトランジスタ12bとから構成され、そのトランジスタ12によってペルチェ効果型素子7の通電方向を切り換えて、 $E_s > E_e$  ( $T_s > T_e$ )の時には、ペルチェ効果型素子7によって半導体レーザー1が冷却されるようにトランジスタ12を通電制御し、 $E_s < E_e$  ( $T_s < T_e$ )の時には、ペルチェ効果型素子7によって半導体レーザー1が加熱されるようにトランジスタ12を通電制御し、これによって、半導体レーザー1の動作温度 $T_s$ が設定温度 $T_e$ に近づく方向に制御され、平衡状態に達し、平衡温度 $T_e$ となる。

ペルチェ効果型素子7に平衡電流 $I_s^e$ が流れていることになる。ここで、動作温度 $T_s$ が平衡温度 $T_e$ に達したときの動作温度変換電圧 $E_s$ を平衡温度対応電圧 $E_e^e$ とする。また、第1図に示す動作温度制御部の電圧・電流変換係数を $\alpha$ とすると、熱平衡状態のときの半導体レーザー1の平衡温度 $T_e$ に対応する平衡温度対応電圧 $E_e^e$ は、

$I_s^e = \alpha (E_e^e - E_s)$  の式を変形して、

$$E_e^e = E_s + \frac{I_s^e}{\alpha} \quad \dots (1)$$

によって求められる。

ただし、 $I_s^e$ は、設定温度 $T_e$ と環境温度 $T_a$ とを等しく制御しようとしたときにペルチェ効果型素子7に流れる電流であり、このとき基準電圧 $E_e$ と環境温度対応電圧 $E_s$ との間には、 $E_e = E_s$ の関係がある。

また、この平衡電流 $I_s^e$ と熱量 $Q$ とは、第3図に示すように熱量 $Q$ が小さい範囲ではリニアの関係にあるから、変換係数を $\beta$ とすると熱量 $Q$ は、

$$Q = \beta \cdot I_s^e \quad \dots (2)$$

しかしながら、この動作温度制御部では、環境温度 $T_a$ の変動、半導体レーザー1の発熱量に基づいて動作温度 $T_s$ の変動があるのである。

たとえば、ペルチェ効果型素子7は、第3図に示す特性を有している。この第3図に示す特性図は、小松エレクトロニクス製のKSM-0211のペルチェ効果型素子7についてのものである。この第3図において、縦軸はこのペルチェ効果型素子7に加わる熱負荷としての熱量 $Q$ を示し、横軸はこのペルチェ効果型素子7に流れる平衡電流 $I_s$ を示し、パラメータ $\Delta T$ は、平衡状態に達したときの動作温度 $T_s$  (このとき、 $T_s = T_e$ ) とペルチェ効果型素子7の放熱側の温度としての環境温度 $T_a$ との温度差であり、

$$\Delta T = T_e - T_a$$

である。温度差 $\Delta T = 0$ は、平衡温度 $T_e$ が環境温度 $T_a$ に等しいことを意味する。

ところで、第3図から明らかのように、発熱体 ( $Q \neq 0$ ) の場合には、たとえ、温度差 $\Delta T = 0$ のときであっても、熱量 $Q$ を放散するために、

によって表される。

そこで、(1)式と(2)式とによって、平衡温度対応電圧 $E_e^e$ は、

$$E_e^e = E_s + \frac{Q}{\alpha \cdot \beta} \quad \dots (3)$$

によって表わされる。

この(3)式は、 $Q = 0$ のときには、基準電圧 $E_e$ を環境温度対応電圧 $E_s$ に等しく設定しておく、制御回路が $E_s - E_s = E_s - E_e^e = 0$ となるように制御を行うため、 $E_e^e = E_s$  ( $\Delta T = 0$ ) となることを示しているが、 $Q \neq 0$ のときには、たとえ、設定温度 $T_e$ を環境温度 $T_a$ に等しくしようとして $E_e = E_s$ に設定したとしても、

$$E_e^e \neq E_s \quad \dots (4)$$

であることを示している。すなわち、この(3)式は、半導体レーザー1のような発熱体の場合には、平衡温度 $T_e$ に対応する平衡温度対応電圧 $E_e^e$ は、設定温度 $T_e$ に対応する基準電圧 $E_e$ に一致せず、この動作温度安定化回路では、熱量 $Q$ の大きさに比例した量、すなわち、 $Q / (\alpha \cdot \beta)$ に相

当する分だけ平衡温度  $T_e$  が設定温度  $T_s$  に対してシフトすることになる。なお、熱量  $Q$  は、半導体レーザー 1 の注入電流  $I$  に比例する。

ところで、環境温度  $T_a$  は、恒常的ではなく、変化するものであり、設定温度  $T_s$  と環境温度  $T_a$  とは必ずしも一致していない。平衡温度  $T_e$  が環境温度  $T_a$  と異なる場合 ( $\Delta T = T_e - T_a \neq 0$ ) には、発熱体でないときであっても、ペルチェ効果型素子 7 には、第 3 図に示すように平衡電流  $I_s^e$  が流れる。第 4 図は、 $Q = 0$  のときの  $\Delta T = T_e - T_a$  と平衡電流  $I_s^e$  との関係を示すペルチェ効果型素子 7 の特性図であり、平衡温度対応電圧  $E_e$  は、 $I_s^e = \alpha (E_e - E_s)$  より、

$$E_e = E_s + \frac{I_s^e}{\alpha} \quad \dots (5)$$

ここで、平衡温度  $T_e$  と環境温度  $T_a$  との温度差  $\Delta T$  が小さい部分 ( $\Delta T \leq 15^\circ\text{C}$ ) では、温度差  $\Delta T$  と平衡電流  $I_s^e$  とは、リニアな関係にある。そこで、温度差  $\Delta T$  は、

$$\Delta T = -\gamma \cdot I_s^e \quad \dots (6)$$

ることになり、動作温度  $T_j$  が一定しないことになる。

次に、発熱体であって、かつ、環境温度  $T_a$  と設定温度  $T_s$  とが一致してない場合には、平衡電流  $I_s^e$  は、重量の原理により、

$$I_s^e = I_{s1}^e + I_{s2}^e = \frac{Q}{\beta} - \frac{\Delta T}{\gamma} \quad \dots (8)$$

によって表される。

この (8) 式を (1) 式によって変形すると、

$$E_e - E_s = \frac{I_s^e}{\alpha} = \frac{Q}{\alpha \cdot \beta} - \frac{\Delta T}{\alpha \cdot \gamma}$$

となり、

$$E_e = E_s + \frac{Q}{\alpha \cdot \beta} - \frac{\Delta T}{\alpha \cdot \gamma} \quad \dots (9)$$

を得る。このように半導体レーザーの発熱量  $Q$  及び設定温度  $T_s$  を環境温度  $T_a$  との差  $\Delta T$  の変化によって平衡温度 (対応電圧  $E_e$ ) が変化することとなる。

したがって、このような動作温度制御部では、動作温度  $T_j$  の長期的な安定化を図ることは期待できない。また仮りに、サーミスタ 9 が内蔵され

ただし、ペルチェ効果型素子 7 に流れる平衡電流  $I_s^e$  の流れの方向は、試料としての半導体レーザー 1 を冷却する方向に流れる場合を正とし、 $\gamma$  は変換係数である。

この (6) 式を用いて、(5) 式を変形し、平衡温度対応電圧  $E_e$  を温度差  $\Delta T$  の関数として表すと、

$$E_e = E_s - \frac{1}{\alpha \cdot \gamma} \Delta T \quad \dots (7)$$

となる。

したがって、第 1 図に示す動作温度制御部を使用すると、設定温度  $T_s$  と環境温度  $T_a$  とが一致していない場合に、平衡温度  $T_e$  に対応する平衡温度対応電圧  $E_e$  が、基準電圧  $E_s$  に一致しないことになり、その差  $E_e - E_s$  は平衡温度  $T_e$  が設定温度  $T_s$  に対して  $\Delta T$  に比例した量だけシフトすることになる。

すなわち、設定温度  $T_s$  を一定にしても、環境温度  $T_a$  が変化すると温度差  $\Delta T$  が変化するため、平衡温度  $T_e$  が環境温度  $T_a$  の影響を受けて変化する

ている箇所の動作温度  $T_j$  が一定であるとしても、サーミスタ 9 と半導体レーザー 1 との間での熱抵抗の経時的変化、サーミスタ 9 そのものの経年変化等があるため、半導体レーザー 1 の動作温度  $T_j$  が長期的に安定であるという保証はなく、発振出力  $P$  の変動を考慮して動作温度  $T_j$  を制御するものでもないから、発振出力  $P$  そのものが安定であるという保証もない。

それゆえに、半導体レーザー 1 の発振周波数と発振波長との双方の長期的な安定化を図ることが困難である。

(発明の目的)

そこで、本発明の目的は、半導体レーザーの発振周波数と発振出力との長期的な安定化を図ることのできる半導体レーザーの発振周波数・発振出力安定化装置を提供することにある。

(問題点を解決するための手段)

本発明に係る半導体レーザーの発振周波数・発振出力安定化装置の特徴は、単一発振モードで発振する半導体レーザーに注入電流を供給する注入

電流供給源と、前記半導体レーザーの発振出力の一部を受光して発振出力の変動を検出する発振出力変動検出部と、前記半導体レーザーの発振出力の一部を前記半導体レーザーの発振波長領域で分光特性が変化する光学素子を介して受光する受光部並びに該受光部の出力及び前記発振出力変動検出部の出力に基づいて前記半導体レーザーの発振波長の変動を求める処理部を有する発振波長変動検出部と、前記半導体レーザーの発熱量を検出する発熱量検出部と、前記半導体レーザーに設けられてその動作温度を検出する動作温度検出部、前記半導体レーザーとの間で熱の授受を行う熱電効果型素子、及び設定温度に対応する基準信号と前記発熱量検出部の出力と前記発振出力変動検出部の出力に基づいて前記発振出力を一定に保ちつつ前記設定温度に前記動作温度が一致するように前記熱電効果型素子を制御する動作温度制御部とからなる動作温度安定化部と、前記発振波長変動検出部の出力に基づいて発振波長が一定となるように前記注入電流源の注入電流を制御する注入電流

制御部とを有しているところにある。

(作用)

本発明に係る半導体レーザーの発振周波数・発振出力安定化装置によれば、動作温度安定化回路が半導体レーザーの発振出力の一部を受光して発振出力の変動を検出する発振出力変動検出部の出力と、設定温度に対応する基準電圧と発熱量検出部の出力とに基づいて、その発振出力を一定に保ちつつその設定温度にその動作温度が一致するように熱電効果型素子を制御すると共に、注入電流制御部がその半導体レーザーの発振出力の一部を受光して発振波長の変動を検出する発振波長変動検出部の出力に基づいて発振波長が一定となるようにその注入電流供給源の注入電流を制御する。

(実施例)

以下に、本発明に係る半導体レーザーの発振周波数・発振出力安定化装置の実施例を図面を参照しつつ説明する。

第5図は、半導体レーザーの発振周波数・発振出力安定化装置の要部構成を示す図であって、半

導体レーザーの発振周波数・発振出力安定化装置は、動作温度安定化部13と、注入電流制御部14と、注入電流供給源15と、発振出力変動検出部16と、発振波長変動検出部44とを有している。発振出力変動検出部16は、半導体レーザー1の発振出力の一部を受光してその発振出力の変動を検出する機能を有している。この発振出力変動検出部16は、ビームスプリッタ18と、コンデンサーレンズ19と、受光素子20と、オペアンプ21とから大略構成されている。そのオペアンプ21の一端子には、基準電源22の基準電圧 $V_0$ が印加され、その他端子には受光素子20の出力 $V_1$ が印加されている。その基準電圧 $V_0$ は、半導体レーザー1の所定の出力レベルに対応しており、半導体レーザー1が所定のレベルの出力をしているときにオペアンプ21の出力が零となるように設定される。ところで、ファブリペロー共振構造を有する通常の半導体レーザーの場合、第6図に示すように動作温度 $T_0$ の変化に基づいて、モードジャンプを生じ、発振波長がシフトする特性を有している。この半導体レ

ーザーのモードジャンプ特性はヒステリシスをもっている。であるから、半導体レーザー1を安定して発振させる場合には、設定温度 $T_0$ をこのモードジャンプが生じにくい安定な領域に選んでおくことが好ましい。オペアンプ21は、その基準電圧 $V_0$ と出力 $V_1$ との差分の出力 $\Delta V$ を動作温度制御部17に向かって出力するものである。

動作温度安定化部13は、動作温度制御部17と、熱電効果素子に相当するペルチェ効果型素子7と、動作温度検出部に相当するサーミスタ33,35とを有している。動作温度制御部17は、第8図に示すように、後述する機能を有する差分補正用出力発生回路23と、後述する機能を有する発熱分補正用出力発生回路24と、熱電効果型素子としてのペルチェ効果型素子7を制御する熱電効果型素子制御部25とを有している。この熱電効果型素子制御部25は、オペアンプ26aと、オペアンプ26と、オペアンプ27と、オペアンプ28aとを有している。オペアンプ26aの一端子は、接地されており、その他端子には、発熱分補正用電圧 $E'$ と差分補正

用電圧 $E''$ が入力され補正用電圧 $E_c$ を出力する。この補正用電圧 $E_c$ は、半導体レーザー1の熱量 $Q$ 及び環境温度 $T_e$ と設定温度 $T_s$ との温度差 $\Delta T$ に比例する物理量であり、その補正用電圧 $E_c$ の詳細については後述する。オペアンプ28aの一端子には、オペアンプ21の出力 $\Delta V$ が入力され、その他端子には基準電源28bの基準電圧 $V_z$ が入力されている。比較器28aはその基準電圧 $V_z$ とオペアンプ21の出力 $\Delta V$ との差分の出力 $E_{s1}$ をオペアンプ26bへ出力する。この基準電圧 $V_z$ は設定温度 $T_s$ に対応している。出力 $E_{s1}$ をオペアンプ26bへ出力する。オペアンプ26bは、出力 $E_{s1}$ と補正用電圧 $E_c$ との差「 $E_{s1} - E_c$ 」に相当する補正基準電圧 $E_{s2}$ をオペアンプ27の他端子に向かって出力する。オペアンプ27は、その一端子に入力されている動作温度変換電圧 $E_{v1}$ とその補正基準電圧 $E_{s2}$ とを比較し、その差分の出力によりトランジスタ12を制御し、そのトランジスタ12によって動作温度 $T_e$ が平衡状態に達するようにペルチェ効果型素子7を通電制御する。

$$E_{s1}' = \frac{Q}{\alpha \cdot \beta} \quad \dots (13)$$

$$E_{s1}'' = - \frac{\Delta T}{\alpha \cdot \gamma} \quad \dots (14)$$

とおく。

すなわち、 $E_{s1} = E_{s1}' + E_{s1}''$ である。

この記号 $E_{s1}'$ は半導体レーザー1の発熱分に基づいて動作温度 $T_e$ と設定温度 $T_s$ とがずれることを補正するために必要とする発熱分補正用電圧を物理的に意味し、記号 $E_{s1}''$ は、動作温度 $T_e$ と設定温度 $T_s$ との差分に基づいて動作温度 $T_e$ と設定温度 $T_s$ とがずれることを補正するための差分補正用電圧を物理的には意味している。そこで、この補正用電圧 $E_{s1}'$ 、 $E_{s1}''$ を制御電圧 $E_c$ として加えれば、動作温度 $T_e$ が平衡状態に達したときの平衡温度 $T_e$ を設定温度 $T_s$ に一致させることができることになる。

発熱分補正用出力発生回路24は、その発熱分補正用電圧 $E_{s1}'$ を発生させる機能を有するもので、オペアンプ29a、29bを有している。オペアンプ

この制御によって、動作温度 $T_e$ が平衡状態に達したとすると、(9)式は補正基準電圧 $E_{s2}$ を用いて、

$$E_{s2} = E_{s1} + \frac{Q}{\alpha \cdot \beta} - \frac{\Delta T}{\alpha \cdot \gamma} \quad \dots (10)$$

と表現できる。

$E_{s2} = E_{s1} - E_c$ であるから、(10)式は、

$$E_{s2} = E_{s1} - E_c + \frac{Q}{\alpha \cdot \beta} - \frac{\Delta T}{\alpha \cdot \gamma} \quad \dots (11)$$

という式に変形できる。

平衡温度 $T_e$ が設定温度 $T_s$ と一致するためには、基準電圧 $E_{s2}$ と平衡温度対応電圧 $E_{s2}$ との差が「0」でなければならない。

この条件のもとで、(11)式を変形すると、

$$E_{s2} - E_{s2} = -E_c + \frac{Q}{\alpha \cdot \beta} - \frac{\Delta T}{\alpha \cdot \gamma} = 0$$

の式から、

$$E_c = \frac{Q}{\alpha \cdot \beta} - \frac{\Delta T}{\alpha \cdot \gamma} \quad \dots (12)$$

という式をうる。

そこで、(12)式において、

29aには、発熱量検出部30からの検出出力が入力されている。発熱量検出部30は、固定抵抗器 $R$ を有している。固定抵抗器 $R$ の電位降下 $V$ は、半導体レーザー1の発熱量 $Q$ が、第10図に示すように、注入電流 $I$ に比例しており、半導体レーザー1に注入電流 $I$ を供給する注入電流供給源15と半導体レーザー1を含む直列回路の途中に固定抵抗器 $R$ を設けることにすると、注入電流 $I$ に比例する。

このことを数式を用いて表現すると、

$$Q = C \cdot I_{s1}, \quad V = R \cdot I_{s1} \text{ から、}$$

$$V = R \cdot \frac{Q}{C} \quad \dots (15)$$

である。ただし、記号 $C$ は変換係数である。

この電圧 $V$ をオペアンプ29a、29bの一端子に力し、可変抵抗器 $R_v$ によって、その増幅率 $m$ を調整する。

オペアンプ29bから出力される出力電圧を発熱分補正用電圧 $E_{s1}'$ として利用するものであるから、 $E_{s1}' = mV$ であり、この式と(13)式、(15)式に

よって、

増幅率  $m$  は、

$$m = \frac{C}{R} \cdot \frac{1}{\alpha \cdot \beta} \quad \dots (16)$$

となる。この (16) 式において、右辺の項に含まれている物理量は全て定数とみなすことができるので、増幅率  $m$  は、一義的に決定される。

この増幅率  $m$  は、 $m < 1$  であって非反転増幅を直接行うことができないため、実施例においては、反転増幅を 2 回行うことにしている。

差分補正用出力発生回路 23 は、その差分補正用電圧  $E_s$  を発生させる機能を有している。この差分補正用出力発生回路 23 は、オペアンプ 31 を有している。サーミスタ 33 の検出出力は温度-電圧変換回路 32 によって電圧  $E_{v1}$  に変換されオペアンプ 31 の一端に入力され、またサーミスタ 35 の検出出力は温度-電圧変換回路 34 によって電圧  $E_{v2}$  に変換されオペアンプの他端に入力される。サーミスタ 33 は、第 10 図に示すように半導体レーザー 1 に内蔵され、サーミスタ 35 は放熱板 8 に取付けられ

そこで、増幅率  $m$ 、 $m'$  の調整を行うと、半導体レーザー 1 の発熱量  $Q$ 、環境温度  $T_a$  と動作温度  $T_j$  との温度差  $\Delta T$  に基づく動作温度  $T_j$  の変動を除くことができることになる。

この動作温度安定化回路 13 は、半導体レーザー 1 の発振出力  $P$  が経時的に変化を受けると、オペアンプ 21 及びオペアンプ 28a によってその発振出力  $P$  の変化に応じて出力  $E_{s1}$  を変化させる。オペアンプ 26、27 はこの出力  $E_{s1}$  に基づいて、発熱分と温度差  $\Delta T$  との補正分を考慮しつつ発振出力  $P$  を一定に保つようにトランジスタ 12 を制御する。

一方第 5 図において、発振波長変動検出部 44 は、受光部 45 と処理部 41 とを有している。

この受光部 45 はビームスプリッタ 37 と、半導体レーザーの発振波長領域で分光特性が変化する干渉フィルター等の光学素子 38 とコンデンサレンズ 39 と、受光素子 40 とを有している。この受光素子 40 は半導体レーザー 1 の発振出力の一部を光学素子 38 を介して受光する。処理部 41 は、割算器等で構成され半導体レーザー 1 の発振出力の一部を受

て、熱電変換器 6 を構成している。そのサーミスタ 33 は半導体レーザー 1 の動作温度  $T_j$  を検出する動作温度検出部として機能する。そのサーミスタ 35 は環境温度  $T_a$  を検出する環境温度検出部として機能する。検出出力  $E_{v1}$  は動作温度  $T_j$  に対応し、検出出力  $E_{v2}$  は、環境温度  $T_a$  に対応している。オペアンプ 31 は、環境温度  $T_a$  と動作温度  $T_j$  との温度差  $\Delta T$  に比例した電圧  $V_s$  を発生する機能を有する。

ここで、温度・電圧変換係数を  $n$  とすると、 $\Delta T$  と電圧  $V_s$  との関係を、

$$V_s = n \cdot \Delta T \quad \dots (17)$$

式で表すことができる。

そこで、オペアンプ 31 に接続された可変抵抗器  $R_v$  によってその増幅率  $m'$  を調整することになると、

$$E_{s2} = - \frac{\Delta T}{\alpha \cdot \gamma} = m' \cdot V_s = m' \cdot n \cdot \Delta T$$

よって、増幅率  $m'$  は、

$$m' = - \frac{\Delta T}{n \cdot \alpha \cdot \gamma} \quad \dots (18)$$

光する受光素子 20 の出力  $V_s$  と半導体レーザー 1 の発振出力の一部を光学素子 38 を介して受光する受光素子 40 の出力  $V_a$  とを受け取り  $V_a/V_s (=V_c)$  なる演算を行い半導体レーザー 1 の発振波長の変動を求め  $V_c$  として出力する。

光学素子 38 には、ここでは、干渉フィルタが使用されている。第 11 図はこの干渉フィルタの波長に対する透過率曲線を示す図である。この干渉フィルタは、所定の波長領域の光を透過させる機能を有しており、立ち上がり立ち下りの鋭い干渉フィルタが用いられている。この第 11 図において、 $\lambda_1 \sim \lambda_2$  は、その立ち上がり範囲の波長領域であり、 $\lambda_1' \sim \lambda_2'$  はその立ち下り範囲の波長領域を示している。干渉フィルタは、この波長領域  $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 、波長領域  $\lambda_1' \sim \lambda_2'$  で、略直線的に立ち上がると共に立ち下がっている。ここで、 $\Delta \lambda \equiv \lambda_1 \sim \lambda_2$ 、 $\Delta \lambda' \equiv \lambda_1' \sim \lambda_2'$  は、50～90 Å である。そこで、半導体レーザー 1 の発振波長  $\lambda$  を、

$$\lambda \div \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \quad (\div \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2})$$

に設定しておく、発振波長 $\lambda$ が変動した場合にその光学素子38を透過して受光素子40に導かれる発振出力Pが大きく変動することになり、この光学素子38を通過する発振出力Pの変動を検出することによって発振波長 $\lambda$ の変動を高い精度でモニターできることになる。

この光学素子38は、以下に説明するようにして、セットするものである。前述したモードジャンプは、第7図に示すように、注入電流Iの変化によっても生じる。

そこで、このようなモードジャンプが生じない領域で注入電流Iを設定する。ファブリペローアタロン板、原子分子吸収スペクトルを用いて波長にロックをかける方式のものにあっては、モードジャンプの生じ易い領域でロックがかかることがあるが、本発明に係る発振周波数・発振出力安定化装置では、モードジャンプの生じにくい安定した領域を選択できる。半導体レーザー1は、そ

源43の調整を行う。この光学素子38を用いたものは、波長基準としてエタロン板、原子、分子吸収スペクトルのような大型の波長基準のものを使用しなくとも、そのエタロン板、原子、分子吸収スペクトル等と略同等の機能を奏し、小型、かつ、安価に製作できるメリットがある。また、発振波長 $\lambda$ が異なる半導体レーザー1を使用する場合であっても、光学素子38の設計値を変更し、その光学素子38を傾斜させるのみで、適正にセットできるメリットもある。

この実施例では、透過率曲線のうち波長が短い側の立上り部分を用いたが、波長が長い側の立ち上がり部分を用いることもできる。

この光学素子38の透過率曲線も、環境温度、湿度等によって変化するが、その変化は、動作温度の変化に基づく半導体レーザー1の発振波長の変動に較べてほとんど問題にならないくらいに小さい。しいて、この透過率曲線の変化を抑制したい場合には、温度安定化回路を用いて光学素子38の温度を一定に保つ工夫をしたりカバーガラスで防

の注入電流Iと動作温度T<sub>v</sub>とが安定領域で発振するようにすでに設定されているので、半導体レーザー1を発振させ、光学素子38をビームスプリッタ37とコンデンサーレンズ39との間に挿入しない状態での受光素子40の出力V<sub>0</sub>を求める。次に、光学素子38をビームスプリッタ37とコンデンサーレンズ39との間に挿入する。この光学素子38は、半導体レーザーの発振波長 $\lambda$ よりも、

$$\lambda \div \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$$

が、ほんの少し長波長の側になるように設計しておく。この挿入の際に、光学素子38を光路に対して少しずつ傾けると、透過率曲線がその形状を保ちつつ波長が短くなる側にシフトする。であるから、この光学素子38を傾けることによって、受光素子40の出力V<sub>0</sub>がh<sub>0</sub>・P<sub>0</sub>となる箇所を選ぶことができる。なお、ここで、h<sub>0</sub>は、発振出力Pが略1/2となる値であり、受光素子40の出力P<sub>0</sub>は、他の手段によって測定を行う。この状態で、オペアンプ42の出力が「零」となるように、基準電

圧対策をとればよい。

注入電流制御部14は、オペアンプ42及び基準電源43により構成され処理部41の出力V<sub>c</sub>に基づいて発振波長が一定となるように注入電流源15の注入電流Iを制御する。

オペアンプ42の一端子には、処理部41の出力V<sub>c</sub>が入力されその他端子には基準電源43の基準電圧V<sub>0</sub>が印加されている。

この基準電圧V<sub>0</sub>は半導体レーザーが所定の波長及び所定の出力を維持しているときの処理部41の出力V<sub>c</sub>と等しいレベルに調整する。

オペアンプ42は処理部41の出力V<sub>c</sub>基準電圧V<sub>0</sub>の差分を注入電流供給源15へ出力する。

注入電流供給源15はオペアンプ42の出力V<sub>c</sub>に応じた値の注入電流を半導体レーザー1に供給するように構成されている。よって、半導体レーザーの発振波長 $\lambda$ が変動するとオペアンプ42はその変動を抑制する方向の出力を注入電流供給源15に出力し、発振波長の変動が小さくなる方向に注入電流を迅速に制御することになる。



したがって、本発明に係る半導体レーザーの発振周波数・発振出力安定化装置は、何らかの原因で発振周波数が変化すると、その変化に応じて注入電流  $I$  が迅速に増減され、発振周波数が安定に保たれる。その際、その注入電流  $I$  の変動によって、発振出力  $P$  が変動することになるが、その発振出力  $P$  の変動が発振出力変動検出部16によって検出され、動作温度制御部17がその変動が小さくなる方向に動作温度  $T$  を制御する。この場合に、動作温度制御部17には、少なくとも注入電流  $I$  に基づく発熱分を補正しつつ設定温度  $T$  に近づくようにバイアスが加えられているから、たとえ、ペルチェ効果型素子7の応答速度が遅いとしても発振出力  $P$  がスムーズに安定に保たれることになる。

何らかの原因で、半導体レーザー1の発振出力  $P$  が変動した場合には、動作温度安定化部13が、発振出力  $P$  を安定に保つように動作温度  $T$  を制御する。動作温度制御部17には、設定温度  $T$  に近づくようにバイアスが加えられているから、た

その動作温度を検出する動作温度検出部、半導体レーザーとの間で熱の授受を行う熱電効果型素子、及び設定温度に対応する基準信号と発熱量検出部の出力と発振出力変動検出部の出力に基づいて半導体レーザーの発振出力を一定に保ちつつ設定温度に動作温度が一致するように熱電効果型素子を制御する動作温度制御部とからなる動作温度安定化部と、発振波長変動検出部の出力に基づいて半導体レーザーの発振波長が一定となるように注入電流源を注入電流を制御する注入電流制御部とを有しているから、半導体レーザーの発振周波数と発振出力との双方の長期的な安定化を図ることができるという効果を奏する。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は従来の動作温度制御部の構成を示す図、第2図は従来の熱電変換器の概略構成を示す図、第3図はペルチェ効果型素子の熱量とそのペルチェ効果型素子に流れる平衡電流との関係を示す特性図、第4図は、熱量が「零」の条件の下で、動作温度と環境温度とに温度差がある場合の平衡電

とえ、ペルチェ効果型素子7の応答速度が遅いとしても発振出力  $P$  がスムーズに安定に保たれる。この動作温度  $T$  が変動することによって、発振波長  $\lambda$  に影響を及ぼすが、注入電流制御部14は、その所定の発振波長  $\lambda$  を保つように注入電流  $I$  を迅速に制御している。

#### (発明の効果)

本発明に係る半導体レーザーの発振周波数・発振出力安定化装置は、以上説明したように、単一発振モードで発振するその半導体レーザーに注入電流を供給する注入電流供給源と、その半導体レーザーの発振出力の一部を受光して発振出力の変動を検出する発振出力変動検出部と、半導体レーザーの発振出力の一部を半導体レーザーの発振波長領域で分光特性が変化する光学素子を介して受光する受光部並びにその受光部の出力及び発振出力変動検出部の出力に基づいて半導体レーザーの発振波長の変動を求める処理部を有する発振波長変動検出部と、半導体レーザーの発熱量を検出する発熱量検出部と、半導体レーザーに設けられて

流と温度差との関係を示す特性図、第5図は本発明に係る半導体レーザーの発振周波数・発振出力安定化装置の全体概略構成を示す図、第6図、第7図は本発明に係る半導体レーザーのモードジャンプ特性を示す図、第8図は第5図に示す動作温度制御部の詳細構成を示す図、第9図は第5図に示す半導体レーザーの注入電流と熱量との関係を示す特性図、第10図は本発明に係る熱電変換器の構成を示す図、第11図は第5図に示す光学素子の透過率曲線の特性図である。

1…半導体レーザー

7…ペルチェ効果型素子

12…トランジスタ

13…動作温度安定化部

14…注入電流制御部

15…注入電流供給源

16…発振出力変動検出部

17…動作温度制御部

30…発熱量検出部

33…サーミスタ(動作温度検出部)

38... 光学素子

41... 処理部

44... 発振波長変動検出部

45... 受光部

$T_v$ ... 動作温度

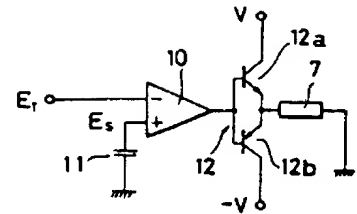
$T_s$ ... 設定温度

出願人 東京光学機械株式会社

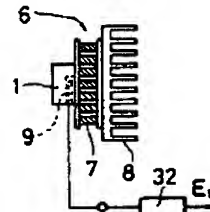
代理人 弁理士 西脇 民雄



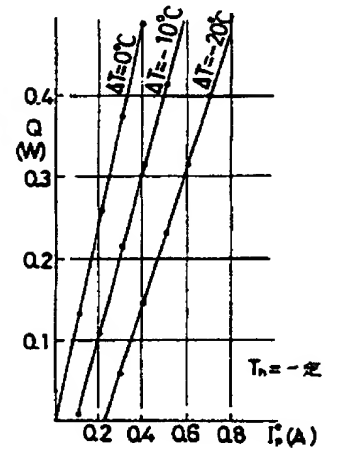
第 1 図



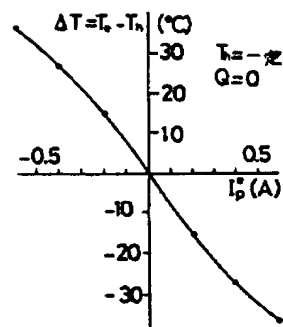
第 2 図



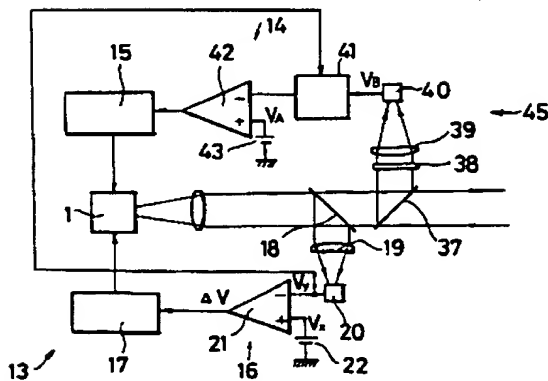
第 3 図



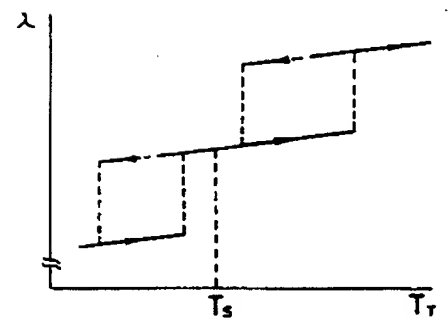
第 4 図



第 5 図



第 6 図



第 7 図

